

# 我国大陆中强地震前地电阻率 异常的分析研究

马熙康 薛顺章 于谋明

(国家地震局兰州地震研究所)

## 摘 要

本文处理分析了震级5.1—6.9的16个地震前后震中附近地电阻率观测资料和其他有关资料,发现 $\rho_s$ 异常有效范围距震中在100公里左右; $\rho_s$ 异常表现下降(多数台 $\rho_s$ 异常形态)或上升(少数)的趋势性变化形态; $\rho_s$ 异常持续时间的对数与震级之间的关系呈线性条带型。文中还讨论了 $\rho_s$ 异常与震源应力场及其他前兆异常的一致性和 $\rho_s$ 异常受地电年变化干扰影响的程度。

## 一、前 言

实践表明,地震前震中附近不少地电台观测到地电阻率的异常变化。近几年来,已有不少报告〔1, 2〕分析研究了一些大震前后地电阻率(简记为 $\rho_s$ )的异常形态和特征。而部分中强地震前 $\rho_s$ 变化状态如何?有何特点?可靠性如何?对这些问题的分析讨论对于完善地电方法预报地震的研究是有必要的。

## 二、中强地震前地电阻率异常初步分析

本文处理分析了十六个中强地震(震级范围 $5.1 \leq M_s \leq 6.9$ )震中附近(在距震中三百公里范围内)的四十余个地电台的地电阻率 $\rho_s$ 观测资料,其中十一个地震前观测到明显的 $\rho_s$ 异常,其他地震前 $\rho_s$ 未出现明显的异常(表)。

(1) 1979年8月25日内蒙古五原6.0级地震震中附近有呼和浩特(震中距 $\Delta = 290$ 公里)和乌加河( $\Delta = 10$ 公里)两个地电台。呼市台 $\rho_s$ 无异常变化。位于震中西北方向的乌加河台东西向 $\rho_s$ 从1978年10月开始下降,出现幅度为3.0%的异常变化,异常持续时间(从地电异常开始到地震发生的时间间隔)约11个月。

(2) 1981年8月13日内蒙古丰镇5.6级地震震中附近有阳原( $\Delta = 80$ )、代县( $\Delta =$

表

发震时间	震级M	震中位置			震源深度(公里)	P轴方位	T轴方位	N方位	震中附近地电台数	$\rho_s$ 异常台数
		经度	纬度	地点						
1973.8.11	6.5	104.1°	32.9°	四川松潘东北	19				1	
1974.9.23	5.6	102.6°	33.8°	四川若尔盖	12				1	
1975.1.15	6.2	101.9°	29.4°	四川九龙东北	25				2	2
1976.9.23	6.2	106.4°	39.9°	内蒙巴彦木仁	20	N15°E	148°	266°	1	
1976.11.7	6.7	101.1°	27.6°	四川盐源西北	21				4	2
1978.5.18	5.9	122°37'	40°43'	辽宁营口	13				7	0
1979.7.9	6.0	119°18'	31°18'	江苏溧阳	12	N64°E	S26°E	N74°E	7	2
1979.8.25	6.0	108°07'	41°14'	内蒙五原	30				2	1
1981.1.24	6.9	101°20'	30°57'	四川道孚					8	2
1977.8.7	5.7	118°52'	39°54'	河北卢龙	18				3	0
1981.8.13	5.6	113°24'	40°30'	内蒙古丰镇	18				4	2
1982.6.16	6.0	99.9°	31.7°	四川甘孜		65°	335°		1	1
1970.12.8	5.1	105°36'	35°56'	宁夏西吉	15				4	2
1977.5.12	6.2	117°42'	39°12'	河北汉沽	19				4	3
1981.11.9	5.8	115.0°	37.3°	河北隆尧					6	3
1982.4.14	5.7	105°10'	36°45'	宁夏海原					5	2

160)、呼和浩特( $\Delta=140$ )三个地电台。观测到异常变化的有阳原和呼市台。阳原台北东道 $\rho_s$ 变化幅度为1.5%(下降),异常持续7个月左右。呼市台 $\rho_s$ 自1981年3月底开始下降,经2个多月下降2.0%,然后处于低值水平于8月13日发震。

(3)1976年11月7日四川盐源6.7级地震震中附近有西昌( $\Delta=130$ 公里)、米易( $\Delta=130$ )、会理( $\Delta=170$ )、渡口( $\Delta=140$ )等四个地电台,其中观测到 $\rho_s$ 异常的有西昌和米易台。西昌台地电布设有南北、东西向两条测线,供电极距分别为432米和740米。两道 $\rho_s$ 多年有同步变化的年变规律,但在盐源地震前从1975年6月开始南北道有下降趋势,到1976年8—9月达最低值,幅度至少1.5%,异常持续时间约16个月。米易台南北向 $\rho_s$ 从1975年5月开始明显上升,到1976年4月止,上升幅度达到3.5%,持续时间为17个月。地震发生在 $\rho_s$ 从高值开始明显回降的三个月之后。

(4)1981年1月24日四川道孚6.9级地震震中附近有3个台,震前雅安( $\Delta=200$ )甘孜( $\Delta=140$ )两个台观测到 $\rho_s$ 异常。雅安台东西向观测道 $\rho_s$ 异常幅度为3.5%(下降),持续时间长达15个月。甘孜台北西向 $\rho_s$ 异常幅度为3%左右,持续时间约12个月。

(5)1982年6月16日甘孜6.0级地震前甘孜台( $\Delta=30$ 公里)观测到 $\rho_s$ 异常,北西道 $\rho_s$ 从1981年6月开始下降,异常幅度为2.5%,持续时间达12个月,回升后开始发震。北西和北30°东向 $\rho_s$ 出现明显的短期异常,北西向 $\rho_s$ 从4月20日开始下降,幅度达2.0%;北东向同期出现上升异常变化。

(6)1975年1月15日四川九龙6.2级地震前,甘孜台( $\Delta=300$ 公里)北30°东 $\rho_s$ 显示下降异常,持续时间约15个月,幅度约为5.0%,北西向 $\rho_s$ 从1974年4月开始下降,10月份转为回升,异常持续时间11个月,下降幅度4.0%左右。姑咱台( $\Delta=100$ )南北向观测道地电出现上升异常,异常幅度约2.0%,持续时间7个月。

(7)1979年7月9日江苏溧阳6.0级地震震中附近的南京( $\Delta=80$ 公里)和安庆台( $\Delta$

= 230公里)观测到地电异常变化。南京台东西向 $\rho_s$ 从1978年10月份开始出现上升异常,幅度达2.0%,持续时间为9个月。安庆台东西向 $\rho_s$ 出现上升异常,幅度达2.0%,持续时间为8个月左右。

(8) 1970年12月3日宁夏西吉5.1级地震震中附近的兰州台( $\Delta = 150$ )和天水台( $\Delta = 140$ 公里)各道 $\rho_s$ 在震前均出现不同程度的异常。兰州台北 $40^\circ$ 东向 $\rho_s$ 从10月初开始出现下降异常,异常幅度约达1.3%,同月20日左右转回升,异常持续时间60天;北 $50^\circ$ 西 $\rho_s$ 出现上升,异常幅度1.3%。天水台东西向 $\rho_s$ 从该年10月17日开始出现下降异常。

(9) 1977年5月12日河北汉沽附近发生6.2级地震,震中附近有宁河台、塘沽台、宝坻台、昌黎台,其中宝坻( $\Delta = 70$ )和塘沽( $\Delta = 40$ )两台 $\rho_s$ 均显示了异常。宝坻台异常幅度1.7%(下降);塘沽台 $\rho_s$ 为上升异常,幅度为1.0%。

(10) 1981年11月9日河北隆尧5.8级地震前 $\rho_s$ 异常比较明显的有隆尧台( $\Delta = 30$ )邢台台( $\Delta = 70$ )和元氏台( $\Delta = 50$ )。隆尧台东西向 $\rho_s$ 下降1.6%左右,南北向 $\rho_s$ 下降1.4%,异常持续时间约90天。邢台台 $\rho_s$ 从1981年3月开始下降,北西向 $\rho_s$ 下降幅度约4.0%,南 $83^\circ$ 东向 $\rho_s$ 下降幅度约为3.0%,异常持续时间为240天。

(11) 1982年4月14日宁夏海原5.7级地震前,静宁台( $\Delta = 150$ 公里)南北向 $\rho_s$ 从1981年7月初开始上升,异常幅度2.0%,持续时间为290天;东西向 $\rho_s$ 同步上升,异常幅度约1.0%左右。通渭台( $\Delta = 170$ 公里)东西向 $\rho_s$ 从1981年3月中旬开始下降,异常幅度约1.0%,持续时间在390天左右。

### 三、中强地震前地电阻率异常特征

根据11个中强地震前在21个地电台观测到的 $\rho_s$ 异常状况,得出中强地震前 $\rho_s$ 异常主要特征有:

(1) 据本文统计21个地台中,距震中200—300公里范围内的有2个,占这个范围内总台(次)数(包括无异常和有异常的台数)的10%左右;在100—200公里范围内的有异常台(次)约9个,约占这个范围内总台数的50%;而100公里范围内有异常台(次)数有10个,约占总数的90%。由此看来,对预报中强地震来说,地电观测台网有效控制范围在100公里左右。

(2) 中强地震前 $\rho_s$ 异常形态表现有趋势性下降,也有的表现趋势性上升异常。以上介绍的 $\rho_s$ 异常中,有21条 $\rho_s$ 异常曲线表现下降,有11条表现上升。统观这些异常,可以归纳出四类基本形态。第Ⅰ类是下降过程中或基本稳定在低值阶段中发震,有15条 $\rho_s$ 曲线表现这类异常;第Ⅱ类是下降阶段结束后开始回升过程中发震,有6条异常曲线表现这类形态;第Ⅲ类是上升过程或基本稳定在高值阶级中发震,有7条 $\rho_s$ 异常曲线表现如此形态;第Ⅳ类有4条曲线表现是上升完成后回返过程中发震。这些不同形态的物理机制还待进一步探讨,但首先要认识的是中强地震前 $\rho_s$ 异常表现形态是多种多样的。

(3) 地电异常持续时间 $\Delta T$ 与震级 $M$ 之间有明显的关系, $M$ 与 $Lg\Delta T$ 成线性增大(图1)。中强地震处于 $M-Lg\Delta T$ 关系图的中段。虽然不是同时期处理的结果,但7.0级以上地震、中强地震和5.0级以下地震在 $M-Lg\Delta T$ 关系图上表现得相当一致。另外,图上各点呈一条带分布,这可能更实际反映地震孕育过程中前兆异常显示的特征。一个7级地震前震中

附近各台 $\rho_s$ 异常持续时间约有250至600天左右，一个6级地震前的异常可持续100天至300天，一个5级地震前可有持续50—150天的异常。由于震中距及所处构造部位以及台址地质水文条件的差异， $\rho_s$ 异常开始时间和发展状态很可能不相同，反映异常持续时间的长短也有一个差异。

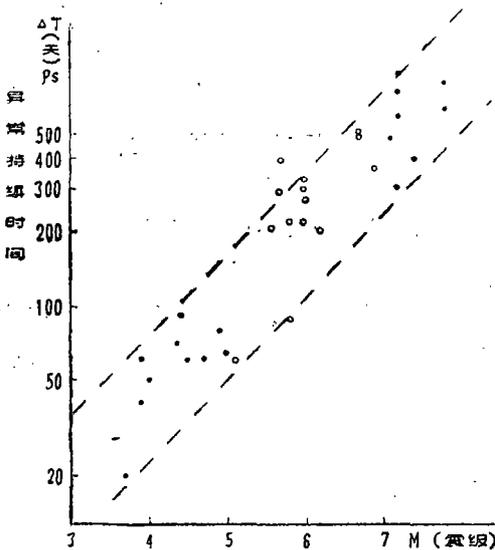


图 1 地电异常持续时间与震级关系图  
Fig. 1 The relation between  $Lg\Delta T$  and  $M$ .

(4) 在中强地震前 $\rho_s$ 短临异常中往往无快速和大幅度的突跳变化。特别临震前 $\rho_s$ 变化相当平稳缓慢。而7级以上地震前数天 $\rho_s$ 往往开始出现大幅度的快速的突跳变化，而且震中附近多数台能观测到这种变化。例如唐山7.8级地震前，在震中附近200公里范围内的地电台普遍观测到临震前的突跳异常。但在中强地震前， $\rho_s$ 在异常变化过程中无那样明显的突跳异常变化(图2)。

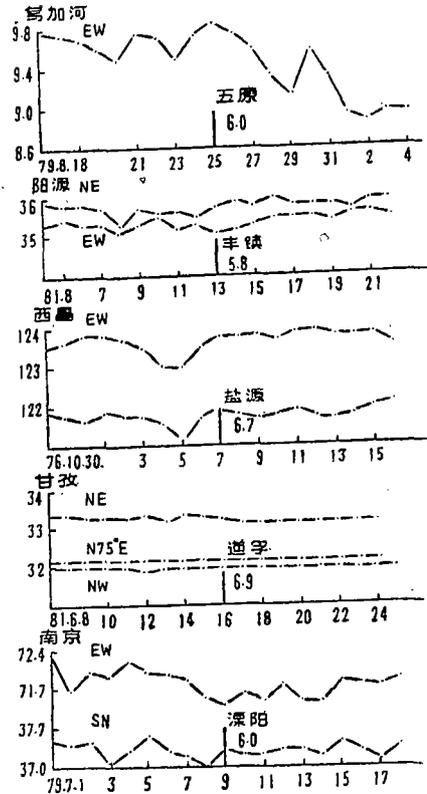


图 2 中强地震前后 $\rho_s$ 日均值变化图  
Fig. 2 The daily change of  $\rho_s$  before and after some moderate earthquakes.

#### 四、有关问题的讨论

从我国大陆几次大震前出现 $\rho_s$ 异常的情况表明，我国目前大多数浅层地电阻率观测能反映地壳应力变化集中和加强的过程，对7级以上大震的孕育和发生能有所预测。但在中强地震前 $\rho_s$ 异常变化却有所不同，下面就几个有关问题进行讨论。

(1) 中强地震前震中附近出现 $\rho_s$ 异常虽然不如大地震前那样明显突出，但与孕震过程是有联系的，是较可靠的。

大震前 $\rho_s$ 异常特点是异常幅度大、持续时间长、显示范围广、各点同步性强、可靠性大。但中强地震前 $\rho_s$ 异常幅度及异常显示范围要小得多。中强地震前 $\rho_s$ 异常强度普遍仅有

1—5%，而 $\rho_s$ 资料正常观测误差在1.0%左右，正常年变化幅度不少台达到3—4%。因此在中强地震前 $\rho_s$ 异常往往难以分析和判断，很难确认可靠程度如何。本文分析了其它兆方法的异常及震源孕育状态与地电阻率异常的联系来研究 $\rho_s$ 异常的可靠性。

中强地震前 $\rho_s$ 异常变化趋势往往与其它前兆异常一致。1979年江苏溧阳6.0级地震前，南京台地电异常与地应力异常同步同状态， $\rho_s$ 异常变化幅度大于观测误差的三倍，比干扰影响幅度也大一倍。南京台北30°东向地应力从1978年10月下旬开始显示异常，经历下降—回升—恢复异常前状态后发震（图3）。而 $\rho_s$ （东西向）变化与地应力同步、同形态。测区地应力下降对应 $\rho_s$ 上升，地应力回升对应 $\rho_s$ 下降。

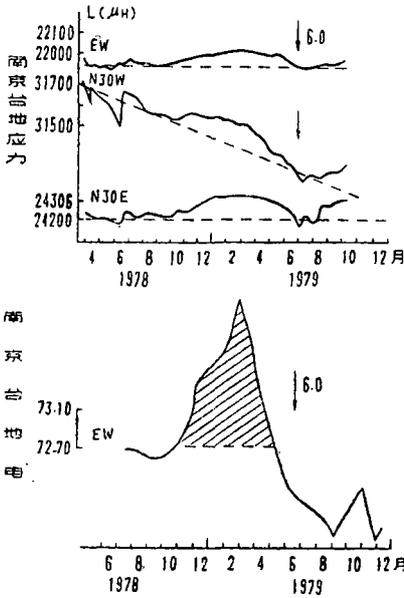


图3 南京台地电与地应力同步变化图  
Fig. 3 The changes of the earth-resistivitys and stress at Nanking station.

1976年11月7日四川盐源6.7级地震前，处于同一应力区的下关基线测量异常与渡口台的 $\rho_s$ 异常同步、同形态<sup>[8]</sup>。在 $\rho_s$ 上升期间，基线变化呈现伸长。

中强地震前 $\rho_s$ 异常特征与测区应力状态相联系。1982年6月16日四川甘孜6.0级地震前，甘孜台 $\rho_s$ 异常特征与震源区应力状态相当一致。本区主压应力方位是北东向，主张应力方位为北西向。甘孜台 $\rho_s$ 异常显示出与应力场性质相当一致的变化。北60°西向 $\rho_s$ 出现异常幅度约2.5%的下降变化；而北30°东 $\rho_s$ 显示上升异常。甘孜台位于鲜水河断裂带西北侧，地表第四纪复盖层厚约40米，勘探介质为饱和的变质砂岩、板岩。地震前甘孜地下水量从1982年4月初开始逐渐减少\*。但北西向 $\rho_s$ 从4月16日开始明显下降，而北30°东向 $\rho_s$ 从4月18日起急剧上升。这种相反的异常变化，不能用地下水位下降得到解释，而用震源区应力状态和性质

来解释是相当合理的。

1970年12月3日宁夏西吉5.1级地震前，兰州台北西向和北东向 $\rho_s$ 表现相反性质的异常变化。北西向 $\rho_s$ 呈上升异常，北东向呈下降异常。而这次地震前主压力方位为北西西向，主张应力方位为北北东向，与兰州台 $\rho_s$ 异常方位成较好的对应关系。

因此， $\rho_s$ 异常在震前的变化状态很可能反映与地震孕育有关的应力状态。

(2) 中强地震前 $\rho_s$ 异常显示状况与 $\rho_s$ 观测干扰的程度有很大关系。

据统计表明，中强地震前， $\rho_s$ 显示大于1.0%的明显异常的所有地电台的 $\rho_s$ 年变化（季节性干扰变化）均小于3.0%；而年变化大于3.0%的台 $\rho_s$ 往往无明显异常（图4）。这种现象相当明显，这可能反映年变化是相当强的一种干扰。

\*四川省地震局，甘孜6.0级地震总结，1982。

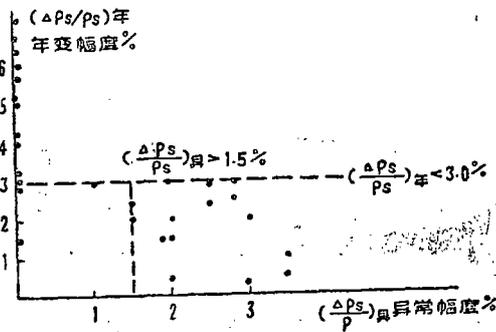


图4 地电异常与年变化幅度的关系

Fig. 4 The relation between earth-resistivity and annual anomalies changes.

## 五、结 论

中强地震前震中附近100公里范围内多数地电台能观测到 $\rho_s$ 异常， $\rho_s$ 往往呈趋势性下降或上升变化，与大震前相比不同，中强地震前 $\rho_s$ 异常无明显的突变异常（短临变化）。 $\rho_s$ 异常的持续时间与地震震级之间有较密切的关系，异常形态与其他前兆手段资料变化及震源应力状态有一致性。中强地震前 $\rho_s$ 异常幅度虽然较小（1.0—5.0%），但异常是较可靠的，利用地电阻率方法预测预报中强地震是可以的。中强地震前地电阻率异常观测和分析受到地电观测中干扰状况的影响较大。因此，为了有效地预测预报中强地震，对地电观测条件和观测系统应有更高的要求，初步认为地电观测台网控制范围要在100公里以内，地电观测干扰变化幅度不得超过3.0%。

本文在考察和整理资料过程中，得到有关省地震局和有关台站的大力帮助，在此特表谢意。

（本文1984年5月15日收到）

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 钱家栋等，大震前后地电前兆变化特征，国际地震预报讨论会论文选编，1981.
- [ 2 ] 赵玉林等，唐山7.8级强震前震中周围形变电阻率的下降异常，地球物理学报，Vol. 21, № 3, 1978.
- [ 3 ] 钱复业等，地震前地电阻率变化十例，地震学报，Vol. 2, № 2, 1980.

ANALYSIS OF THE ANOMALIES IN GEOELECTRICAL RESISTIVITY  
BEFORE THE MEDIUM EARTHQUAKES WITH MAGNITUDE  
OF 5.1—6.9 IN CHINA

Ma Xikang, Xue Shunzhang and Yu Mouming  
(*Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological  
Bureau, Lanzhou, China*)

Abstract

The data which were recorded in geoelectrical stations near the epicenters of 16 earthquakes with magnitude of 5.1—6.9 showed some features as following:

(1) The spatial scale of the anomaly was approximately 100km from the epicenters.

(2) Majority of the anomalies showed the decrease in the tendency of variation of  $\rho_s$  and minority of them increase.

(3) There is a linear functions in the coordinate of  $Lg\Delta T-M$  ( $\Delta T$  means the duration of the anomaly).

In addition, the relationship between the  $\rho_s$ -anomaly and the source-stress field as well as other precursors is discussed in the paper, and the problem of distinguishing between the  $\rho_s$ -anomaly and the annual change in  $\rho_s$  is also dealt with.